

イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違い

著者	永井 健
号	46
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	農博第994号
URL	http://hdl.handle.net/10097/60212

ながい たけし

氏名（本籍地） 永 井 健

学 位 の 種 類 博士（農学）

学 位 記 番 号 農博第 994 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 22 年 3 月 25 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 1 項

研 究 科 ， 専 攻 東北大学大学院（博士課程）農学研究科応用生命科学専攻

論 文 題 目 イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違い

博士論文審査委員 （主査）教 授 牧 野 周

教 授 國 分 牧 衛

教 授 山 谷 知 行

論文内容要旨

序論

イネとコムギは両種併せて、世界の穀物生産の実に55%を占めており、人類の食料生産において最も重要な植物種である(FAO 2003)。亜熱帯に起源を持つ夏作物であるイネと、寒冷地に起源を持つ冬作物であるコムギとでは、生育に適した環境条件が明確に異なっている。我が国においては、冷夏によるイネの凶作が農業上の大きな問題であったため、低温がイネの成長や光合成に与える影響について研究がなされてきた(Kabaki et al. 1982, Maruyama et al. 1990)。しかしながら、両種はその重要性から、生物学および農学的研究の実験材料として扱われ、今日までに多くの科学的知見が蓄積しているにもかかわらず、栽培温度の変化に対する個体成長の応答については、両種とも知見が殆どなかった。地球温暖化が進む今日、温暖化に伴う穀物生産の推移を正確に予測するためにも、人類の穀物生産を担う両種の温度応答の知見が必須である。

光合成は温度によって強く影響を受ける(for a review, see Sage and Kubien 2007)。著者が所属する植物栄養生理学分野では、主として光合成におけるCO₂固定反応を担う酵素であるRubiscoの活性がコムギにおいてイネより高いため、葉温25°Cにおける光合成速度はコムギがイネを上回ることを明らかにした(Makino et al. 1988)。しかし、両種の光合成の至適温度や栽培温度の変化が光合成に与える影響については明らかにされていなかった。そこでまず第1章では、イネとコムギの温度応答の違いを、個葉光合成と個体成長について同時に明らかにし、加えて温度応答における個葉光合成と個体成長の関係を明らかにすることを試みた。

第1章で得られた結果から、イネはより高温、コムギはより低温に適した光合成を行っていることを明らかにしたが、この両種の光合成の温度特性の違いがどのような生理学的要因によるものであるのかという新たな疑問を生じた。これまでも植物は生育環境や種によって光合成の温度特性が異なることが明らかにされているが(Berry and Björkman 1980, Bunce 2000, Yamori et al. 2005)、異なる植物種の温度応答の違いの原因の解明を試みた研究は未だない。

現在の気圧CO₂条件下における、至適温度近傍の光合成は、主としてRubiscoのカルボキシレーション能によって律速されることが報告されている(Hikosaka 1997, Cen and Sage 2005, Hikosaka et al. 2006, Yamori et al. 2006)。事実、高温域においてRubiscoの活性化率の減少が、光合成速度の減少と平行して起こることから、高温における光合成はRubiscoによって決定されている可能性がある(Haldimann and Feller 2004, 2005, Yamori et al. 2006)。これは、Rubiscoの活性を制御する酵素である、Rubisco activaseが高温に弱いことに起因するとされている(Feller et al. 1998)。しかしながら一方で、光化学系IIに代表される電子伝達系も高温に弱いという報告もされており(Mawson & Cummins 1989, Yamasaki et al. 2002, Wise et al. 2004)、高温における光合成はRubiscoではなく電子伝達によって律速され、Rubiscoの活性化率の減少はあくまで、電子伝達の低下に伴う光合成の低下に付随した現象であるという報告もある(Cen and Sage 2005)。Rubiscoの活性を制御するRubisco activaseは、チラコイド膜の ΔpH 、ストロマの還元状態およびATP/ADP比によって影響を受けることが知られているが(Portis 2003)、温度応答におけるRubiscoの活性とそれら因子との関係性については未だ明らかにされていない。

そこで第2章では、光合成のモデル解析を行い両種の光合成におけるRubiscoの寄与度を明らかにするとともに、Rubiscoの活性およびそれに影響を及ぼす因子の温度応答を明らかにし、両種の光合成の温度特性の違いをもたらす要因の解明を試みた。

第1章

イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違い

本章では、イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度特性の違いを、人工気象室を用いて、昼温/夜温=13/10℃(コムギのみ)、19/16℃、25/19℃、30/24℃ & 37/31℃の異なる栽培温度条件下で両種を水耕栽培し、明らかにした。また、温度応答における個葉光合成と個体成長の関係性についても明らかにすることを試みた。

1) イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違い

25/19℃栽培個体における光合成—温度曲線を両種で比較した(Fig. 1)。至適温度は、イネで30~35℃の間、コムギでは25~30℃の間であった。加えて、葉温20℃以下の光合成速度は常にコムギがイネを上回ったことから、イネはより高温、逆にコムギはより低温に適した光合成の温度特性を有することを明らかにした。

個体成長を表す、最終的な個体の乾物生産量の温度応答を示した(Fig. 2)。イネは30/24℃栽培条件で最大となり、最も低い栽培温度条件である19/16℃では著しい低下が認められた。コムギは、25/19℃栽培条件において最大となり、他の栽培温度条件では低下し、最も高い栽培温度条件である37/31℃で最低となった。これらの結果から、個葉光合成に続き個体成長においても、イネはより高温、コムギはより低温に適していることを明らかにした。

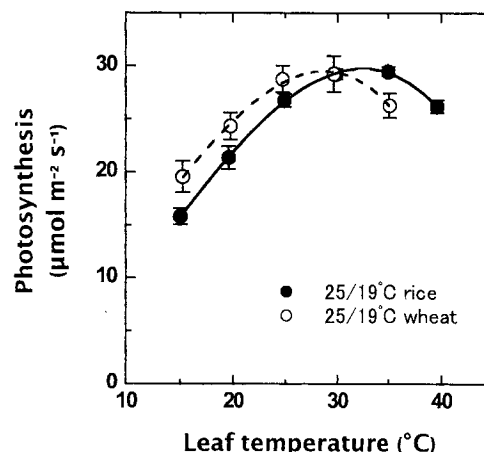


Fig. 1 Temperature response of the photosynthesis at $pCi = 28$ Pa in leaves of rice (closed circle) and wheat (open circle) grown at day/night temperature regime of 25/19°C. Measurements were made at a PPFD of 1,500 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The data were fitted by a third-order polynomial.

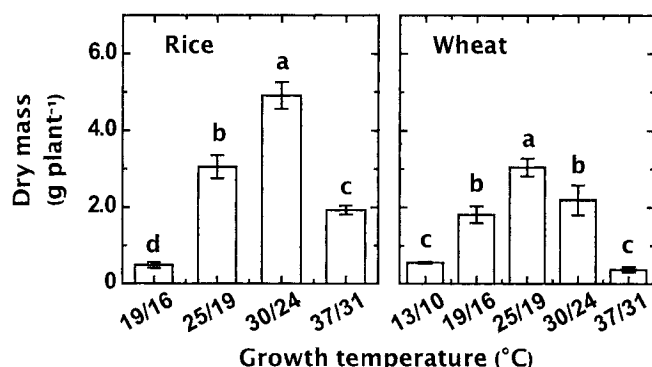


Fig. 2 Effects of growth temperature on biomass production in rice (left panel) and wheat (right panel) at day 63 and day 35 after germination, respectively. Data represent mean \pm SD ($n = 4$). Different letters indicate statistical difference (where a is greater than b) at $P < 0.05$ between temperature treatments (Tukey-Kramer's HSD test).

個体成長の温度応答をより詳細に明らかにするため、個体成長解析を行った(Fig. 3)。最終的な個体の乾物生産量が最大となったイネ30/24℃栽培条件では、RGRの増加がLARの増加によってもたらされた(Fig. 3i, j)。コムギ30/24℃栽培条件においても、LARの増加は認められたが、NARの低下がそれを上回ったため、RGRの低下が引き起こされたことが明らかとなった(Fig. 3g, h, k, l)。このようにLARは両種共に、温度依存的な増加傾向を示し、種間で温度応答に差が認められなかった (Fig. 3i-l)。それに対し、NARはその低下が常にRGRの低下をもたらした、かつ19/16℃栽培条件で低下したイネに対し、コムギでは最も高い栽培温度条件である37/31℃で顕著な低下が認められ、両種で異なる温度応答を示した(Fig. 3e-h)。植物の成長に強く影響を与える窒素について考慮するため、NARを葉身の窒素含量で割って求めた、個体成長における窒素利用効率 (NUE for GR)は、生育期間に関わらず、両種ともその温度応答が最終的な個体の乾物生産量と一致した(Fig. 3m-p)。

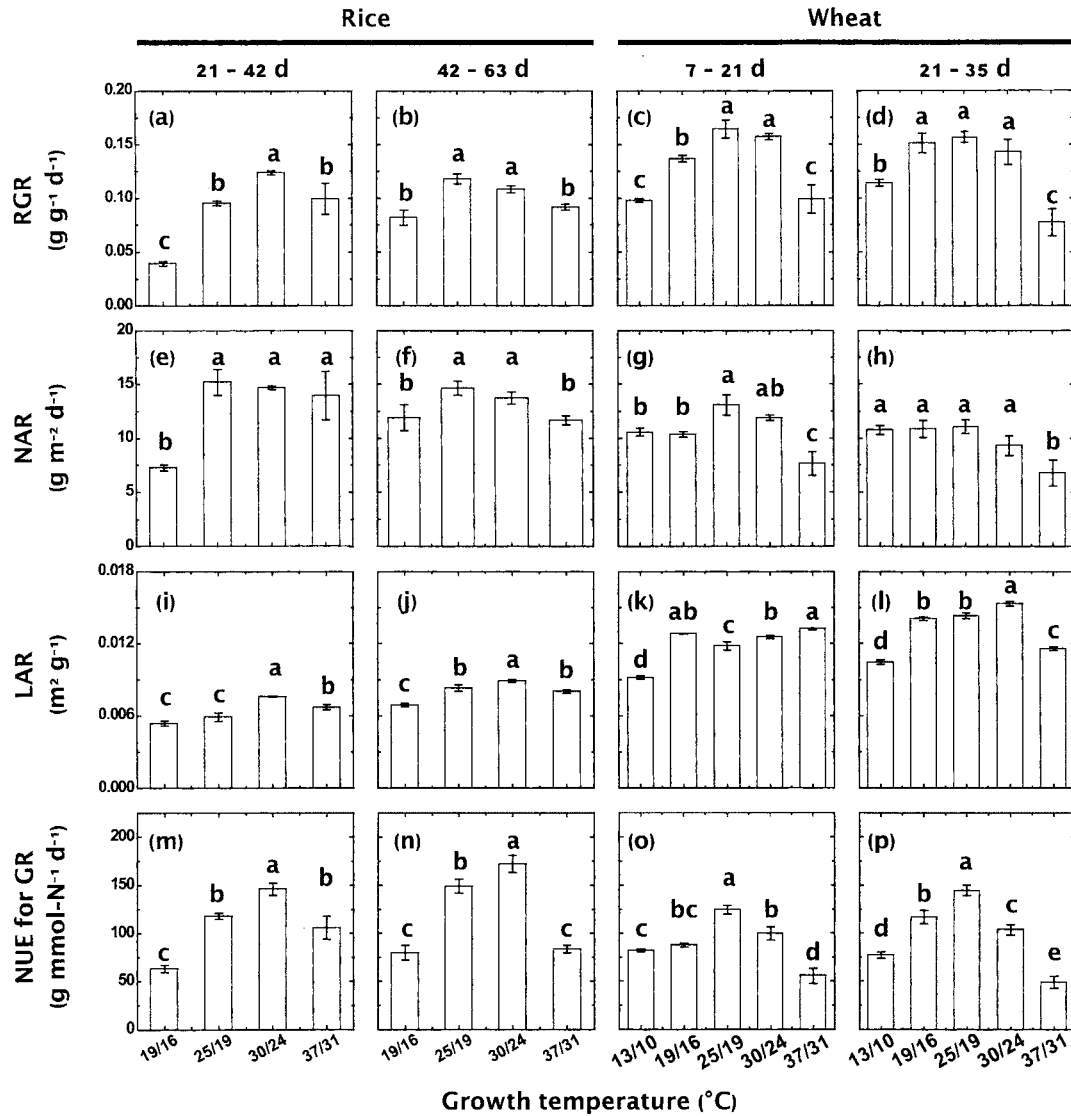


Fig. 3 Effects of growth temperature on relative growth rate (RGR; a - d), net assimilation rate (NAR; e - h), leaf area ratio (LAR; i - l) and nitrogen-use efficiency for growth rate (NUE for GR; m - p) in rice (left panels) and wheat (right panels) grown at the indicated day/night temperature. Data represent means \pm SD ($n = 3-5$). Different letters indicate statistical difference (where a is greater than b) at $P < 0.05$ between temperature treatments (Tukey-Kramer's HSD test).

両種の個体成長の温度応答の違いをもたらす要因をより詳しく明らかにするため、RGRとその他の成長解析のパラメータの相関関係を調べた(**Fig. 4**)。RGRとNARおよびNUE for GRの間に種特異的な高い正の相関関係が認められた。よって、イネとコムギの個体成長の温度応答の違いをもたらす要因として、NARとNUE for GRの重要性が裏付けられた。

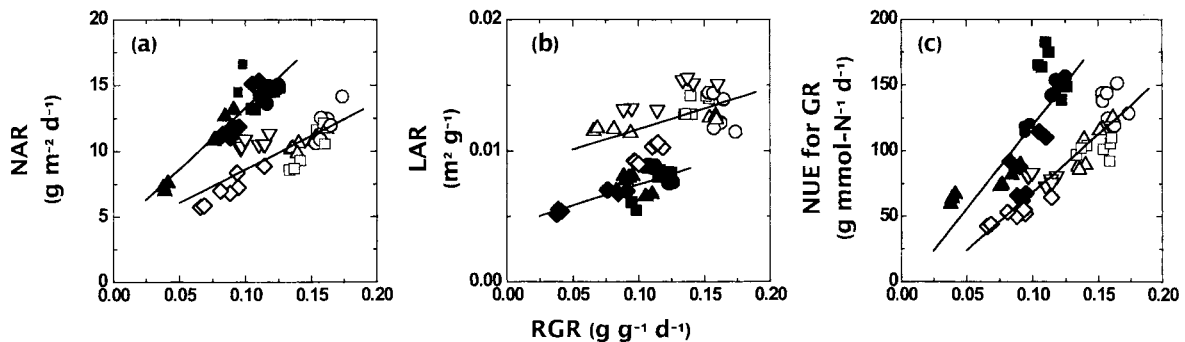


Fig. 4 Relationships between NAR (a), LAR (b) and NUE for GR (c), and RGR in rice (closed symbols) and wheat (open symbols) Plants were grown at day/night regimes of 13/10°C (inverted triangle), 19/16°C (triangle), 25/19°C (circle), 30/24°C (square) and 37/31°C (diamond). For NAR, $y = 93x + 4.03$, $r^2 = 0.90$ (rice); $y = 51x + 3.54$, $r^2 = 0.81$ (wheat). For LAR, $y = 0.032x + 0.43$, $r^2 = 0.69$ (rice); $y = 0.031x + 0.86$, $r^2 = 0.52$ (wheat). For NUE for GR, $y = 1270x - 7.44$, $r^2 = 0.80$ (rice); $y = 884x + 19.9$, $r^2 = 0.90$ (wheat).

2) 温度応答における個葉光合成と個体成長の関係性

温度応答における個葉光合成と個体成長の関係性を明らかにするため、上記結果からイネとコムギの個体成長の温度応答の違いを生じる原因であることが示唆された個体レベルのNARとNUE for GRについて、個葉レベルの温度応答でその温度応答が説明出来るかどうか検証した。

まず、NARの温度応答の種間差を個葉レベルの温度応答で説明出来るかどうか明らかにするため、栽培温度条件下における個葉の光合成速度の温度応答を求めた(Fig. 5)。しかしながら、その値は両種共に栽培温度に対しほぼ一定で、イネとコムギで温度応答が異なるNARの温度応答を説明出来なかった。

次に、NUEの個葉および個体レベルの温度応答の比較をするため、栽培温度における光合成速度をその葉身窒素含量で割って求めた、光合成における窒素利用効率(NUE for A)とNUE for GRの温度応答を比較した(Fig. 6)。両種とも、NUE for AはNUE for GRよりも温度応答が小さかったが、最大となる栽培温度条件が両者で種毎に一致した。更に、イネは19/16°C栽培温度条件で、コムギは37/31°C栽培温度条件で低下する温度応答がNUE for AとNUE for GRでよく一致した。

よって、イネとコムギの異なるNUE for

Aの温度応答が、両種の異なる個体成長の温度応答の違いをもたらしていることが示唆された。

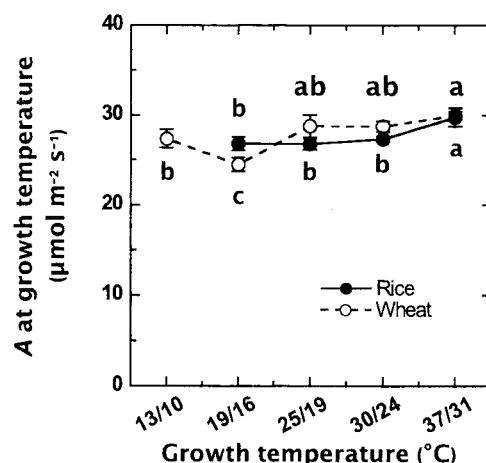


Fig. 5 Photosynthesis (A) measured at each daytime growth temperature in leaves of rice (closed symbols) and wheat (open symbols) grown at the indicated temperature. Measurements were made at a PPFD of 1,500 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $p\text{Ci}$ of 28 Pa. Data represent means \pm SD ($n = 3-5$). No bar indicates the SD was within the size of the symbols. Different letters indicate statistical difference (where a is greater than b) at $P < 0.05$ between temperature treatments (Tukey-Kramer's HSD test).

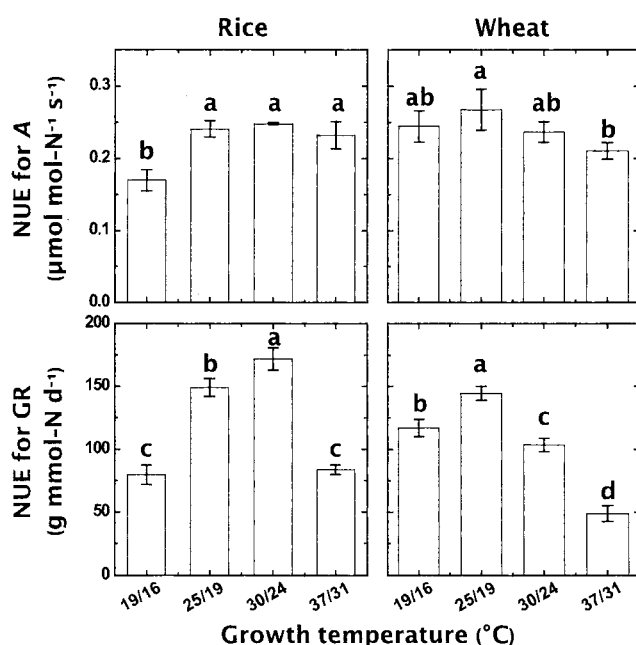


Fig. 6 Effects of growth temperature on NUE for A and NUE for GR in rice (left panels) and wheat (right panels) grown at the indicated temperature. NUE for A were estimated by dividing at the A at growth temperature (Fig. 5) by total leaf-N content. NUE for GR values were taken from Fig. 3n and p. Data represent means \pm SD ($n = 3-5$). Different letters indicate statistical difference (where a is greater than b) at $P < 0.05$ between temperature treatments (Tukey-Kramer's HSD test).

以上の結果から、第1章では以下の結論を得た。

1) 個葉光合成および個体成長の両面において、イネはより高温に、コムギはより低温にそれぞれ適している。

2) NARおよびNUE for GRもイネはより高温に、コムギはより低温に適しており、この両種のNARとNUE for GRの温度応答の違いが、両種の個体成長の温度応答の違いを生じていた。

3) NUEは個葉レベルと個体レベルで温度応答が一致することが両種で認められた。これらのことから、イネとコムギの異なる個体成長の温度応答は、両種のNUE for Aに起因する可能性が示唆された。従来、窒素が植物の成長に大きく影響を及ぼすことは知られていたが、本研究ではその利用効率が、成長の温度応答に大きく影響を与えること、また個葉レベルでの窒素利用効率が、個体成長に直接関係していることを初めて明らかにした。

第2章

イネとコムギの個葉光合成の温度応答の違い

前章で得た結果から、イネは低温においてコムギより光合成速度が低く、逆に高温においては、相対的にコムギより高く維持されている傾向にあることを明らかにした。そこで本章では、それら両種の光合成の温度特性の違いをもたらす要因について明らかにすべく、25/19°C栽培条件にて栽培を行ったイネとコムギを材料に光合成のモデル解析を行うとともに、Rubiscoの活性制御の温度応答と、それに影響を及ぼすと指摘されている因子の温度応答について調べた。

1) 低温域における光合成速度とRubisco活性化率

Rubiscoが光合成に与える影響を明らかにするため、Farquharモデル(Farquhar et al. 1980)を用いて解析を行った。モデル解析の計算に必要なパラメーターを異なる文献のデータを用いて、その結果を比較した(Fig. 7)。その結果、イネでは葉温20°C以下、コムギでは葉温35°C以下における光合成がRubiscoによって律速を受けている可能性が示唆された。

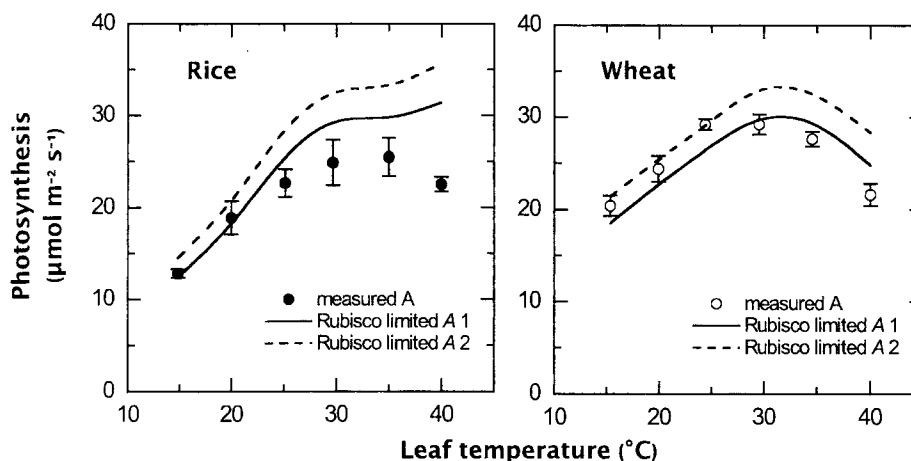


Fig. 7 Temperature response of A at $pCi = 28$ Pa, and modeled from Farquhar model in leaves of rice (closed circle) and wheat (open circle) grown at day/night temperature regime of 25/19°C. The lines denote A limited by Rubisco capacity. Measured A were taken from Fig. 7a. A limited by Rubisco capacity were calculated from A in each different leaves at $pCi = 15$ Pa, and normalized by Chl contents of each leaves. Rubisco limited A_1 (solid lines) were calculated with the parameter for Farquhar model of Γ^* , K_c and K_o were taken from Bernacchi et al. (2002). Rubisco limited A_2 (dotted lines) were calculated with the parameter for Farquhar model of Γ^* were taken from Brooks & Farquhar (1985), K_c and K_o were taken from Harley & Tenhunen (1991). Only R_d were measured in my study.

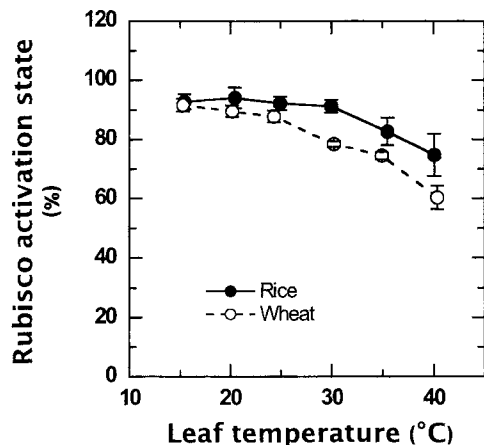


Fig. 8 Temperature response of Rubisco activation state at $pCi = 28$ Pa in leaves of rice (closed symbols) and wheat (open symbols) grown at day/night temperature regime of 25/19°C. Leaves were allowed to attain the steady-rate of CO_2 assimilation at a PPFD of $1,500 \mu mol$ quanta $m^{-2} s^{-1}$ at given leaf temperature before sampling. Data represent means \pm SD ($n = 3-5$).

次に、Rubiscoの活性化状態の温度応答について調べた(Fig. 8)。イネでは35°C以上、一方コムギでは30°C以上の高温で減少した。モデル解析の結果から光合成がRubiscoによって強く律速を受けていると示唆された低温域で、実際に両種ともRubiscoの活性化状態が高かった。このことから、低温における両種の光合成の違いは、Rubiscoの活性の違いに因るのではないかと考えられた。実際、両種のRubiscoのtotal活性の温度応答を比較すると、葉温に関わらずコムギはイネより高かった(data not shown)。このことから、低温域においてイネよりコムギで光合成速度が高いことは、両種のRubiscoの活性の違いに起因していると推定された。

2) Rubisco活性化状態とその制御に関わる因子の温度応答

Rubiscoの活性化状態に影響を及ぼす要因として、ストロマの還元状態を表す指標であるNADP-MDHの活性化率およびATP/ADP比の温度応答を調べた(Fig. 9)。NADP-MDHの活性化率は、イネでは30°C以上で減少が認められ、その減少率はRubiscoの活性化状態とよく一致した。一方、コムギにおいては、15°Cにおいて他の葉温よりも顕著に高い活性化率を示し、30°Cおよび35°Cにおいては低下が認められず、高温域における減少は40°Cのみで認められた。ATP/ADP比は、イネでは葉温に関わらずほぼ一定であったが、コムギでは30°C以上の高温域で顕著な増加が認められた。

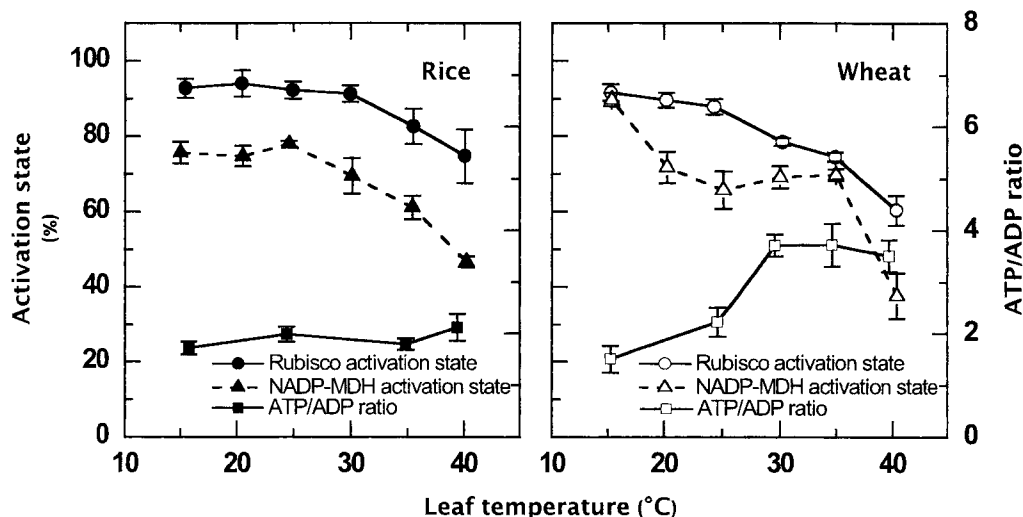


Fig. 9 Temperature response of Rubisco activation state (circle), NADP-MDH activation state (triangle), and ATP/ADP ratio (square) at $p_{\text{Ci}} = 28$ Pa in leaves of rice (closed symbols and left panel) and wheat (open symbols and right panel) grown at day/night temperature regime of 25/19°C. Leaves were allowed to attain the steady-rate of CO_2 assimilation at a PPFD of $1,500 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at given leaf temperature before sampling. Data represent means \pm SD ($n = 3-5$).

次に、クロロフィル蛍光から得られる、過剰光吸収エネルギーの熱放散の指標となる、非光化学的クエンチング(NPQ)の温度応答をイネとコムギで比較した。NPQは、チラコイド膜内外の ΔpH 勾配の形成によって促進されるため、チラコイドの ΔpH 形成の指標となる。 ΔpH 形成もRubiscoの活性化を維持する要因の一つである。NPQは、両種とも15°Cおよび40°Cで増加する傾向を示したが、Rubiscoの活性化状態の高温における減少を説明する変化は認められなかった(Fig. 10)。

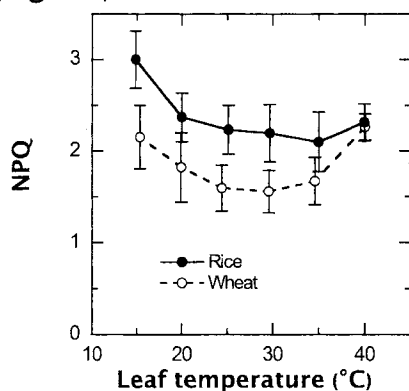


Fig. 10 Temperature response of non-photochemical quenching (NPQ) in leaves of rice (blue circle) and wheat (green circle) grown at day/night temperature regime of 25/19°C. Chl fluorescence were simultaneously measured with gas exchanges at a PPFD of $1,500 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Data represent means \pm SD ($n = 3-4$).

これら上記の結果から、イネにおけるRubiscoの活性化状態の高温における減少は、ストロマの酸化に因ると考えられた。ストロマの還元状態は電子伝達由来のNADPHによって強く影響を受けることから、イネの高温におけるRubiscoの活性化状態の低下は電子伝達能の低下によって引き起こされた副次的反応である可能性が考えられた。一方、コムギのRubiscoの活性化状態の高温における減少は、40°Cにおいてはイネ同様、ストロマの酸化によって引き起こされていたが、葉温30°Cおよび35°Cにおいては、今回の測定を行ったチラコイドの ΔpH 、ストロマの還元状態およびATP/ADP比のいずれの低下も認められなかった。そのため、高温におけるRubiscoの活性化状態の低下の温度応答の種間差をもたらす要因については明らかにすることが出来なかった。

3) 高温域における光合成速度

モデル解析の結果から、イネでは至適温度を含む、葉温25°C以上の光合成はRubisco以外の要因によって律速を受けていると考えられた。一方、コムギでは至適温度を含む葉温35°CまではRubiscoが光合成を律速し、葉温40°CではRubisco以外の要因が光合成をそれぞれ律速していると考えられた (Fig. 7)。このため高温域において、イネの光合成速度がコムギよりも相対的に高く維持される要因については、今回の研究からは明らかにすることが出来なかった。しかしながら、イネとコムギでは、至適温度近傍を含む高温域での光合成が、異なる因子によって律速を受けている可能性が示唆された。

以上の結果から、第2章では以下の結論を得た。

1) モデル解析およびRubiscoの活性化状態の温度応答の結果から、低温域における光合成がイネよりコムギで高いのは、コムギのRubiscoの活性がイネよりも高いことに起因していることに起因すると推定された。

2) Rubiscoの活性化状態は、イネでは葉温35°C以上、コムギでは葉温30°C以上の高温で減少した。イネでは、葉温30°C以上でストロマの還元状態を表す指標であるNADP-MDHの活性化率が低下した。そのためイネでは、高温におけるRubiscoの活性化状態の低下は、電子伝達を介したストロマの酸化によって引き起こされる副次的な反応である可能性が示唆された。しかしながら、コムギ葉温30°Cおよび35°Cでは、今回測定を行った因子のいずれの関与も認められなかったため、両種のRubiscoの活性化状態の温度応答の違いを明らかにすることは出来なかった。

3) 高温域において、イネがコムギより比較的高い光合成速度を維持する要因については、明らかにすることが出来なかった。しかしながら、至適温度を含む高温域における光合成は、イネとコムギでは異なる要因によって律速を受けていると推定された。

要約

本研究では、人工気象室を用いて異なる栽培温度条件下で水耕栽培したイネとコムギを用い、イネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違いを明らかにした。

イネはより高温に、コムギはより低温に適した光合成を行っている。個体成長の指標である個体の乾物生産量はイネでは30/24°C栽培条件で、コムギでは25/19°C栽培条件で最大となった。個体成長解析の結果、NAR、とくにNUE for GRにおいてイネとコムギで温度応答が異なること、加えてRGRとの間に種特異的な高い正の相関関係が認められたことから、NARとNUE for GRの温度応答の違いが両種の個体成長の温度応答の違いをもたらしていると結論した。加えて、温度応答における個葉光合成と個体成長の関係性を明らかにした結果、個体レベルのNUE for GRと個葉レベルのNUE for Aの間に、種毎で異なる温度応答の一致が認められた。そのように、イネとコムギの個体成長の温度応答の違いは、両種のNUE for Aの温度応答の違いによってもたらされていることが推定された。

上記結果を踏まえ、個葉光合成のイネとコムギの異なる温度特性について、より詳細な生理学的機構を明らかにすることを試みた。低温域においてイネよりもコムギが高い光合成速度を有するのは、両種のRubiscoの活性の違いに起因していると考えられた。Rubiscoの活性化状態はイネでは35°C以上、コムギでは30°C以上の高温で減少した。イネではRubisco活性化状態の低下は、電子伝達に関連するストロマの酸化によって引き起こされていることが示唆された。しかし、コムギではRubiscoの活性化状態が、今回測定を行った因子のいずれの関与も認められなかったため、両種のRubiscoの活性化状態の温度応答の違いをもたらす要因については明らかにすることが出来なかった。高温における両種の光合成の違いをもたらす要因についても明らかにすることは出来なかったが、イネとコムギでは、至適温度近傍を含む高温域における光合成が異なる因子によって律速を受けていると推定された。

引用論文

- Berry J and Björkman O (1980) *Ann. Rev. Plant Physiol.* **31**: 491-543.
Brooks A & Farquhar GD (1985) *Planta* **165**: 397-406.
Bunce (2000) *Photosynth. Res.* **63**: 59-67.
Cen YP and Sage RF (2005) *Plant Physiol.* **139**: 979-990.
FAO (2003) FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/>)
Farquhar GD, von Cammerere S and Berry JA (1980) *Planta* **149**: 78-90.
Feller U, Crafts-Brandner SJ and Salvucci ME (1998) *Plant Physiol.* **116**: 539-546.
Haldimann P and Feller U (2004) *Plant Cell Environ.* **27**: 1169-1183.
Haldimann P and Feller U (2005) *Plant Cell Environ.* **28**: 302-317.
Harley PC & Tenhunen JD (1991) Modeling the photosynthetic response of C₃ leaves to environmental factors, pp. 17-39.
Hikosaka K (1997) *Ann. Bot.* **80**: 721-730.
Hikosaka K, Ishikawa K, Borjigidai A, Muller O and Onoda Y (2006) *J. Exp. Bot.* **57**: 291-302.
Kabaki N, Yoneyama T and Tajima K (1982) *Jpn. J. Crop Sci.* **51**: 82-88.
Makino A, Mae T and Ohira K (1988) *Planta* **174**: 30-38.
Makino A & Sage RF (2007) *Plant Cell Physiol.* **48**: 1472-1483.
Maruyama S, Yatomi M and Nakamura Y (1990) *Plant Cell Physiol.* **31**: 303-309.
Mawson BT and Cummins WR (1989) *Plant Physiol.* **89**: 325-332.
Portis (2003) *Photosynth. Res.* **75**: 11-27.
Sage RF and Kubien DS (2007) *Plant Cell Environ.* **30**: 1086-1106.
Yamasaki T, Yamakawa T, Yamane Y, Koike H, Satoh K and Katoh S (2002) *Plant Physiol.* **128**: 1087-1097.
Yamori W, Noguchi K and Terashima I (2005) *Plant Cell Environ.* **28**: 536-547.
Yamori W, Suzuki K, Noguchi K and Terashima I (2006) *Plant Cell Environ.* **29**: 1659-1670.
Wise RR, Olson AJ, Schrader SM and Sharkey TD (2004) *Plant Cell Environ.* **27**: 717-724.

原著論文

- Nagai T and Makino A (2009) Differences between rice and wheat in temperature response of photosynthesis and plant growth. *Plant Cell Physiol.* **50**: 744-755.

論文審査結果要旨

本研究は、人工気象室を用いて異なる栽培温度条件下で水耕栽培したイネとコムギを材料に、個葉光合成と個体成長の温度応答の違いを明らかにしたものである。

イネはより高温に、コムギはより低温に適した光合成を行っており、個体成長の指標である個体の乾物生産量はイネでは 30/24℃栽培条件で、コムギでは 25/19℃栽培条件で最大となった。個体成長解析の結果、純同化率(NAR)、とくに成長のための窒素利用効率(NUE for GR)においてイネとコムギで温度応答が異なること、加えて相対成長速度(RGR)との間に種特異的な高い正の相関関係が認められたことから、NAR と NUE for GR の温度応答の違いが両種の個体成長の温度応答の違いをもたらしていると結論した。加えて、温度応答における個葉光合成と個体成長の関係性を明らかにした結果、個体レベルの NUE for GR と個葉レベルの光合成の窒素利用効率(NUE for A)の間に、種ごとで異なる温度応答の一致が認められた。このように、イネとコムギの個体成長の温度応答の違いは、両種の NUE for A の温度応答の違いによってもたらされていることが推定された。上記結果を踏まえ、個葉光合成のイネとコムギの異なる温度特性について、より詳細な生理学的機構を明らかにすることを試みた。低温域においてイネよりもコムギが高い光合成速度を有するのは、両種の Rubisco の活性の違いに起因していると推定された。Rubisco の活性化状態はイネでは 35℃以上、コムギでは 30℃以上の高温で減少した。イネでは Rubisco 活性化状態の低下は、電子伝達に関連するストロマの酸化によって引き起こされていることが示唆された。しかし、コムギでは Rubisco の活性化状態が、今回測定を行った因子のいずれの関与も認められなかったため、両種の Rubisco の活性化状態の温度応答の違いをもたらす要因については明らかにすることが出来なかった。高温における両種の光合成の違いをもたらす要因についても明らかにすることは出来なかったが、イネとコムギでは、至適温度近傍を含む高温域における光合成が異なる因子によって律速を受けていると推定された。

以上のように、本研究はイネとコムギの個葉光合成と個体成長の温度応答の違いについて明らかにしたものである。この論文内容に対する審査員からの質疑は十分に新奇性のある画期的な内容であることの確認や今後のイネとコムギの栽培地域拡大の方向性等であった。それらへの論文提出者の応答を含め、審査員一同本論文が博士(農学)を与えるに十分な内容であると判定した。